

学校编码: 10384
学号: 22620111151435

密级_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

南海及福建近岸水体中群落与
细菌呼吸的研究

Community and bacterial respiration in the South
China Sea and Fujian coastal waters

王娜

指导教师姓名: 陈炳章 副教授

专 业 名 称: 环 境 科 学

论文提交日期: 2014 年 5 月

论文答辩时间: 2014 年 5 月

2014年5月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

该学位论文为厦门大学基本科研业务费项目“由环境因子估算南中国海细菌丰度、生产力和呼吸速率(2011121007)”及国家自然科学基金青年基金项目“全球变暖对海洋微型浮游动物摄食浮游植物的影响(41106119)”课题的研究成果。

声明人 (签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文(包括纸质版和电子版)，允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

()1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

()2.不保密，适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。)

声明人 (签名)：

年 月 日

目录

摘 要.....	I
Abstract.....	III
缩略词中英文对照表	V
第一章 绪论	1
1.1 海洋浮游生物.....	1
1.1.1 海洋浮游生物群落的代谢	1
1.1.2 海洋浮游细菌代谢过程及其生态作用	1
1.2 海洋浮游生物群落代谢状态	3
1.3 温度对海洋浮游细菌代谢因子的影响	5
1.4 海洋环境中浮游细菌代谢因子的研究进展	7
1.4.1 细菌生产力	7
1.4.2 细菌呼吸	8
1.4.3 细菌生长效率	9
1.5 本研究的科学问题和研究内容	11
第二章 材料与方法	14
2.1 研究海区概况	14
2.2 站位布设与采样	17
2.3 分析测定	20
2.4 数据分析	22
第三章 南海北部夏季浮游生物群落代谢	24
3.1 环境参数的空间变动	24
3.1.1 温盐	24
3.1.2 叶绿素 <i>a</i> 浓度	25
3.2 2012 年夏季南海北部群落代谢因子空间分布	26
3.2.1 总初级生产力 GPP	26
3.2.2 群落呼吸 CR	27
3.2.3 净生产力 NCP	28
3.2.4 细菌生产力和细菌生物量	29
3.3 讨论	32
第四章 南海西部夏季浮游生物群落代谢	36
4.1 2013 年夏季航次环境参数的空间变动	36
4.1.1 温盐	36
4.1.2 叶绿素 <i>a</i>	38
4.2 2013 年夏季南海西部群落代谢因子空间分布	39

4.2.1 表层总初级生产力 GPP 的分布	39
4.2.2 表层群落呼吸 CR 的分布	40
4.2.3 群落净初级生产力 NCP 的分布	41
4.3 讨论	42
第五章 厦门港水体中浮游生物代谢因子对温度的响应	44
5.1 GPP 对温度的响应	44
5.2 CR 对温度的响应	47
5.3 BR 对温度的响应	51
5.4 BP 对温度的响应	53
5.5 BGE 对温度的响应	55
5.6 讨论	58
第六章 结论与认识	64
参考文献	67
附录	85
致谢	86

Contents

Abstract in Chinese	I
Abstract in English.....	III
List of Abbreviations	V
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Marine Plankton	1
1.1.1 Community metabolism	1
1.1.2 Metabolic process of marine planktonic bacteria and its ecological effect ...	1
1.2 The metabolic state of communities.....	3
1.3 Influence of temperature on bacterial metabolism.....	5
1.4 Review on metabolism of bacteria in the ocean.....	7
1.4.1 Bacterial production	7
1.4.2 Bacterial respiration.....	8
1.4.3 Bacterial growth efficiency	9
1.5 The purpose of this study	11
Chapter 2 Materials and methods	14
2.1 Study Area.....	14
2.2 Sampling Stations.....	17
2.3 Analytic Determination	20
2.4 Data Analysis	22
Chapter 3 Metabolism of marine plankton in the northern South China Sea in the summer of 2012	24
3.1 Spatial variations of environmental parameters	24
3.1.1 Temperature and salinity	24
3.1.2 Concentration of Chl <i>a</i>	25
3.2 Spatial distribution of metabolic factors in nSCS in 2012.....	26
3.2.1 Gross primary production.....	26
3.2.2 Community respiration.....	27
3.2.3 Net community production	28
3.2.4 Bacterial production and abundance.....	29
3.3 Discussion	32
Chapter 4 Metabolism of marine plankton in the western South China Sea in summer of 2013	36
4.1 Spatial variations of environmental parameters	36
4.1.1 Temperature and salinity	36
4.1.2 Concentration of Chl <i>a</i>	38

4.2 Spatial distribution of metabolic factors in the nSCS in 2013	39
4.2.1 Gross primary production in surface	39
4.2.2 Community respiration in surface	40
4.2.3 Net community production	41
4.3 Discussion	42
Chapter 5 Temperature effect on metabolic factors in Xiamen coastal water.....	44
5.1 Response of GPP to temperature.....	44
5.2 Response of CR to temperature.....	47
5.3 Response of BR to temperature.....	51
5.4 Response of BP to temperature	53
5.5 Response of BGE to temperature	55
5.6 Discussion	58
Chapter 6 Summary	64
References.....	67
Appendix.....	85
Acknowledgements.....	86

摘 要

采用黑白瓶方法, 分别于 2012 年夏季、2013 年夏季两个航次, 开展了群落总初级生产力 (Gross primary production, GPP) 和群落呼吸 (Community respiration, CR) 的调查研究, 初步划分了南海北部和西部自养、异养区域。并在厦门近岸水体开展了浮游生物群落代谢因子对温度变化响应机制的研究, 取得如下主要结果:

1、南海北部夏季浮游生物群落代谢

南海北部夏季总的初级生产力 GPP 水柱积分平均值为 $106.6 \pm 7.51 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (mean \pm SE, 以下同), 群落呼吸 CR 平均为 $131.1 \pm 5.95 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, 净群落生产力 (Net community production, NCP) 变化范围为 $-179.0 \sim 377.6 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (中值为 $-40.4 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)。受上升流的影响, 琼东海域呈现明显的自养状态。在珠江口, 由于珠江冲淡水的流入, 该区域也呈现自养状态。台湾海峡近岸以及粤东近岸均为异养区域。以上结果揭示: 异养区域的群落呼吸并不是完全由本地初级生产力决定, 有机碳在空间上的输送对海洋浮游生物群落新陈代谢的影响可能极为重要。

2、南海西部浮游生物群落代谢

南海西部夏季表层总的初级生产力 GPP 平均值为 $1.844 \pm 0.242 \text{ } \mu\text{mol O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$, 群落呼吸 CR 平均为 $1.624 \pm 0.182 \text{ } \mu\text{mol O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$, 群落净初级生产力 NCP 的变化范围较大从 -7.089 到 $3.079 \text{ } \mu\text{mol O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$, 平均大小为 $0.220 \pm 0.312 \text{ } \mu\text{mol O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 。琼东近岸以及南海西部海域受上升流、沿岸流的影响, 导致这些海区净群落初级生产力 NCP 大于 0, 使得该海区群落代谢呈现自养状态, 而其他海区则呈现异养状态。

3、浮游生物群落代谢对温度变化的响应

厦门近岸水体中温度调控实验结果显示 Q_{10} (GPP) 平均为 2.22, 而 Q_{10} (CR) 平均为 2.23, 表明温度对 GPP 的影响和对 CR 的影响程度相当, 不存在前人研究中所显示的 CR 随温度升高而升高的速率超过 GPP 的现象。夏季 GPP 和 CR 最大, 在冬季的时候 GPP 和 CR 相对较低。

细菌生产力 (BP) 和细菌呼吸 (BR) 是细菌代谢两个相反的过程, 两者对温

度变化响应不同。研究发现 $Q_{10}(\text{BR})$ 平均大小为 1.04, 而 $Q_{10}(\text{BP})$ 平均大小为 2.08, 表明 BP 对温度变化的响应较 BR 对温度变化响应更敏感, 使得同一次实验中 BGE 和 BP 随温度变化趋势较一致, BP 成为 BGE 的决定因子。

关键词: 黑白瓶法; 群落代谢因子; 自养; 异养; 温度

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

We measured gross primary production and community respiration using the light and dark bottle method during 2 cruises in the summer of 2012 and 2013, respectively, to investigate the metabolic states of the plankton community in the northern and the western South China Sea. We also studied the temperature sensitivity of plankton metabolism at one fixed site in Xiamen coastal waters. The main results were:

1. Metabolism of marine plankton in the northern South China Sea in summer

GPP averaged $106.6 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ with a standard error of $7.51 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. CR averaged $131.1 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ with a standard error of $5.95 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Net community productivity varied from -179.0 to $377.6 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ with a median value of $-40.4 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Our results showed that the area affected by Qiongdong upwelling was autotrophic. In the areas affected by the Pearl River discharge, the plankton community was also autotrophic. In contrast, other areas including the Taiwan Strait inshore waters and the South China Sea open waters were heterotrophic. Therefore, community respiration was not entirely determined by the local primary productivity in the sampled areas. Our results suggested that the spatial transport of organic carbon could play an important role in affecting the metabolic state of the plankton community.

2. Metabolism of marine plankton in the western South China Sea in summer

GPP averaged $1.844 \text{ } \mu\text{mol O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ with a standard error of $0.242 \text{ } \mu\text{mol O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$. CR averaged $1.624 \text{ } \mu\text{mol O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ with a standard error of $0.182 \text{ } \mu\text{mol O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Net community productivity varied from -7.089 to $3.079 \text{ } \mu\text{mol O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$, averaged $0.22 \text{ } \mu\text{mol O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ with a standard error of $0.312 \text{ } \mu\text{mol O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$. The coastal waters in Qiongdong and the western South China Sea were affected by upwelling and coastal current, leading to NCP greater than zero. Therefore, the plankton community in these areas were autotrophic. In contrast, the plankton communities in other areas were heterotrophic.

3. Temperature sensitivity of plankton metabolism in Xiamen Bay

This study showed that temperature affected community productivity and

respiration rate. Q_{10} of GPP averaged 2.22, while Q_{10} of CR averaged 2.23, which showed that the temperature effects on GPP and CR were similar, in contrast with previous studies showing that CR would respond more sharply to temperature than GPP.

BP and BR were two inverse processes of bacterial metabolism. They responded differently to temperature. Q_{10} of BR and BP averaged 1.04 and 2.08, respectively. BP was more sensitive to temperature than BR, leading to the pattern that the temperature sensitivity of BGE was mainly controlled by that of BP.

Key words: light and dark bottle method; community metabolic factors; autotrophic; heterotrophic; temperature

缩略词中英文对照表

缩略词	英文名称	中文名称
GPP	Gross primary production	群落总的初级生产力
CR	Community respiration	群落呼吸
NCP	Net community production	净群落生产力
BR	Bacterial respiration	细菌呼吸
BP	Bacterial production	细菌生产力
BGE	Bacterial growth efficiency	细菌增长效率
BA	Bacterial abundance	细菌丰度
DOM	Dissolved organic matter	溶解有机物
POM	Particulate organic matter	颗粒有机物
DOC	Dissolved organic carbon	溶解有机碳
DCM	Deep Chlorophyll Maximum	叶绿素最大层
TCA	Trichloroacetic acid	三氯乙酸
CF	Conversion factors	转换系数
PFA	Paraformaldehyde	多聚甲醛

第一章 绪论

1.1 海洋浮游生物

海洋浮游生物能够悬浮在水层中，具有随水流移动特性，通常主要包括浮游植物，浮游动物，浮游微生物。这三种生物在海洋生态系统中形成了经典的食物链和微食物环，从而使得海洋中的物质和能量得以不断的循环流动。海洋中生物代谢过程主要包括合成代谢和分解代谢，其中合成代谢能够将外界无机物质转化为有机物质，而分解代谢可以通过呼吸等过程将有机物质转化为无机物质并且重新返回到环境中。

1.1.1 海洋浮游生物群落的代谢

海洋浮游生物代谢状态是影响海洋生态系统碳循环的重要因子。海洋浮游生物的初级生产 (Gross primary production, GPP) 是支持整个海洋生态系统的主要物质能量来源，将无机碳转变为有机碳 (即吸收二氧化碳)，同时产生氧气；而群落呼吸 (Community respiration, CR) 则是初级生产的逆过程，将有机碳转化为无机碳 (即释放二氧化碳)，消耗氧气。海水中浮游生物初级生产和群落呼吸的平衡主要表现在大量有机物质的利用、向其他生态系统输出、储存在沉积物中或者以溶解有机物 (Dissolved Organic Matter, DOM) 的形式向更高营养级传输等方面。群落净生产力 (Net community production, $NCP = GPP - CR$) 是影响海气 (包括氧气和二氧化碳) 交换和碳输出的重要影响因子 (Duarte et al., 2013)。如果 $NCP > 0$ ，即总的初级生产速率大于呼吸消耗速率 ($GPP > CR$)，则海水生物群落呈现自养状态，成为二氧化碳的汇和氧气的源，并有较大的向真光层以下输出碳的潜能。相反，如果 $NCP < 0$ ，则海水生物群落呈现异养状态，成为二氧化碳的源和氧气的汇 (Duarte et al., 2009)，外来碳的输入对于维持海洋生物群落及其重要。

1.1.2 海洋浮游细菌代谢过程及其生态作用

在海洋生态系统中，海洋浮游细菌扮演着分解者和二次生产者的双重角色，是海洋生态系统中参与物质循环和能量流动过程的重要环节。早在 1974 年，

Pomeroy 就提出微型异养生物在溶解和消解颗粒有机物方面起着重要的作用,但是由于观察方法的限制,直到表面荧光显微镜 (Epifluorescence Microscopy, EFM) 的使用,才证明了异养细菌是异养微生物的主要组成部分 (Ferguson and Rublee, 1976; Hobbie et al., 1977)。海水中浮游细菌不仅可以利用浮游植物释放的 DOM, 同时还可以利用食物链摄食、捕食过程产生的 DOM。浮游细菌将 DOM 转化为自身 POM, 也就是细菌的次级生产力, 这部分 POM 虽然由于颗粒极小而不能被后生动物直接利用, 但是可以通过原生动物的摄食, 并且不断的向更高营养级传输。研究表明: 浮游细菌的生产力在总初级生产力中占 10%~30% 的比例 (Hagstrom et al., 1979; Fuhrman and Azam, 1980; 1982)。然而, Cole et al. (1988) 发现通常异养细菌的次级生产力相当于初级生产力的 20% ~30%。Kirchman et al. (1993) 报道海洋异养细菌生产力相当于海区初级生产力的 10% ~80%。这些研究发现足以说明异养细菌在海洋生态系统碳循环中的重要作用。相反, 细菌通过呼吸能够将部分被同化的 DOM 又以 CO_2 的形式释放到大气中, 对海-气间碳的循环起到了一定的调节作用, 细菌可消耗总初级生产力的 20%~60% (Williams, 1981)。

异养浮游细菌对溶解性有机碳 (Dissolved Organic Carbon, DOC) 的降解消耗是海洋食物网中物质循环和能量流通的主要途径。海洋异养细菌在海洋生物地球化学循环中具有重要意义: 一方面, 海洋中的异养细菌利用溶解有机物 DOM 转换为自身颗粒物 (Particular Organic Matter, POM), 然后被原生动物 (主要是鞭毛虫和纤毛虫) 捕食后再传递到后生动物构成微食物环 (microbial loop), 从而进入经典食物链向高营养级传递, 在此过程中异养浮游细菌扮演次级生产者的角色; 另一方面, 海洋浮游细菌 (主要是异养浮游细菌) 能将生物营养转化中遗失的溶解性有机物和颗粒性有机物分解转化为无机营养盐, 促进营养盐循环, 并成为海洋群落呼吸释放 CO_2 的主要贡献者, 从而起到分解者或还原者的作用 (Azam et al., 1983)。异养细菌利用浮游动物不能利用的 DOM 提高了海洋生态系统的总生态效率。

从海洋氮循环的角度看海洋中的氮素主要以分子态氮 (N_2)、无机态氮 (NO_3^- 、 NO_2^- 、 NH_4^+) 以及有机态氮 (核酸、蛋白质等) 这三种形态存在。一方面, 通过氨化作用, 海洋细菌可以将有机氮化物转化同时释放出氨; 另一方面, 亚硝化细

菌又可以将氨转化为亚硝酸,而亚硝酸再经过硝化细菌的硝化作用进一步氧化成硝酸;在厌氧或低氧的条件下,海洋中硝酸盐经过海洋细菌的反硝化作用还原成亚硝酸、次亚硝酸、一氧化氮或分子态氮等;海洋细菌又可以通过生物固氮作用直接利用分子态氮 (N_2) 将其还原为氨。

在海洋磷循环中,细菌通过分解海洋动植物残体,释放出可以供浮游植物或者细菌自身利用的无机态磷酸盐。同时,磷也是海洋细菌生长和繁殖以及分解有机物过程中必需的因子。然而,在某些海域(如马尾藻海)溶解无机态磷成为异养细菌生长的限制性因子。Yuan et al. (2011) 通过磷添加实验对细菌生产力 (Bacterial Production, BP) 和细菌呼吸 (Bacterial Respiration, BR) 进行测定评估发现细菌生产力 (BP) 比细菌呼吸 (BR) 对 PO_4 的响应更敏感,这一结果表明,磷的存在对于海水中浮游细菌的代谢过程极其重要。

异养细菌在碳循环体系中扮演重要角色(溶解有机物的降解者、微食物网的基础、呼吸的重要贡献者)(Azam et al., 1983; Del Giorgio et al., 2005)。异养浮游细菌能够将溶解有机碳降解,海洋中>90%的颗粒有机碳库由细菌构成。细菌生产力以及增长率决定了溶解有机碳输入与输出 (Carlson et al., 1994; Carlson and Ducklow, 1995; Hansell and Carlson, 1998)。从而对于调节海洋与大气之间碳收支平衡起到一定作用,促进了全球碳循环平衡。

1.2 海洋浮游生物群落代谢状态

全球海洋中的能够进行光合作用的生物仅仅占整个生物圈总生物量的0.2%,但是海洋中净初级生产力却占整个生物圈的近一半左右 (Smith, 1981; Falkowski et al., 2000)。地球上能够进行光合作用的自养生物证实了在海洋真光层中浮游生物是自养的 (Ducklow and Doney, 2013)。海洋自养浮游生物占主导地位时,海洋浮游生物初级生产力超过群落呼吸速率,该海区呈现自养状态。自养生态系统是一种健康的生态系统,该系统中群落的呼吸不需要外来有机物输入的维持。当海洋中异养浮游生物群落超过了自养生物数量而成为该生态系统的主导者时,这一海区呈现异养状态,群落呼吸的速率大于浮游植物光合作用的速率。因此,这些异养海区被认为是一种机能失调的生态系统,较高的外来有机物质的输入才能维持异养生物的代谢活动。

在过去十年中,关于贫营养生态系统中广阔海域营养状态的争论不断。通过培养实验对细菌呼吸和浮游植物光合作用测定, del Giorgio et al. (1997) 发现贫营养海区细菌呼吸超过了浮游植物净生产力,使得这些广阔的海区成为二氧化碳的源。随后,许多研究主要目标在于阐明广阔海域微型浮游生物代谢的数量以及分布趋势。大多数基于培养前后瓶中溶解氧变化的研究,结果表明生产力较低的生态系统代谢主要呈现异养状态 (Duarte and Agustí 1998; Duarte et al., 2001; Gonzalez et al., 2001; Serret et al., 2001; Robinson et al., 2002; Moran et al., 2004; Williams et al., 2004; Gist et al., 2009)。尽管相关研究过程中采用相似的方法,但是结果却发现贫营养海区处于一种自养状态或者代谢平衡状态 (Williams and Purdie, 1991; Karl et al., 2003; Serret et al., 2006; Riser and Johnson, 2008)。其他的作者 (Geider, 1997; Williams, 1998) 对这种持续的净异养状态表示疑惑,现场观测越来越多的证据表明贫营养海区混合层的上层是氧气的净源而不是汇。于是 Geider (1997) 和 Williams (1998) 推测测量方法的误差可能成为海区呈现净异养的主要原因。随后,在贫营养海区对于培养过程中氧通量的测定进一步证实 del Giorgio et al. (1997) 的结论:细菌呼吸的速率超过了浮游植物的光合速率。

Westberry et al. (2012) 对自养和异养海区的地理分布进行调查分析表明:全球海洋表层的 57% 是异养区域。这些呈现异养状态的海区需要有机碳维持该海区相应的生物群落呼吸,然而一般来说海洋中单位体积有机碳的承载力较低。而进一步的研究计算表明在贫营养海区如果没有外来有机碳的供应,异养状态很难维持较长的时间。Duarte 和 Agustí (1998) 认为净自养海区生产的过多有机物质通过传输、运输等作用到达贫营养的海区从而有效的满足这些异养海区有机碳需求。然而,Williams 和 Bowers (1999) 对海洋中能够将所需量的有机物质传输到贫营养海区的物理运输机制是否存在提出质疑。

贫营养海区是否呈现异养状态还没有得到定论。关于贫营养海区呈现自养还是异养状态的争议不断 (Duarte et al., 1998; Williams, 1998; Williams et al., 2004; Duarte et al., 2005; Aranguren-Gassis et al., 2012)。近期的 Annual Review of Marine Science (2013 年第 5 卷) 上刊登了两篇争论此问题的综述文章分别探讨了支持以上两种相对立观点的证据 (Duarte et al., 2013; Williams et al., 2013)。Williams et al. (2013) 认为这些贫营养海域处于净自养状态,也就是说浮游生物总初级生产力

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”. Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库